УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА





Научная статья

УДК 697.94

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-127-136

Разработка алгоритма увеличения жизненного цикла систем кондиционирования воздуха (СКВ)

В.И. Беспалов ✉, **Ю.Ю. Ткачева** ✉, **А.И. Николаев**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ izos-rgsu@mail.ru, ✉ tkachevayu@yandex.ru

Аннотация
Введение. В качестве научной проблемы авторами выделена необходимость анализа и оценки жизненного цикла систем кондиционирования воздуха (СКВ) для разработки оптимальной технологии создания микроклимата в помещении, благоприятствующего производительному труду, отдыху людей и нормальному протеканию технологических процессов. Целью работы явилось исследование жизненного цикла СКВ как объекта обеспечения комфортного микроклимата помещений в структуре градостроительных комплексов различного назначения.
Материалы и методы. В основу исследований авторами положены методы математического и системного анализа для увеличения жизненного цикла объектов обеспечения микроклимата помещений.
Результаты исследования. В результате исследований установлены основные этапы жизненного цикла, определена их связь с соответствующими характеристиками функционирования СКВ, предложены формулы по определению критериев и безразмерных показателей оценки работы системы обеспечения микроклимата.
Обсуждение и заключение. Выполненный анализ поиска резервов увеличения жизненного цикла позволил установить, что этап эксплуатации СКВ представляет наибольшие возможности с точки зрения выбора оптимальной компоновки функциональных блоков системы и технологии кондиционирования. Определены и описаны формулы критериев и соответствующих им безразмерных показателей для разработки рекомендаций и способов увеличения жизненного цикла СКВ.

Ключевые слова: микроклимат, тепловлажностная обработка воздуха, системы кондиционирования воздуха, функциональные блоки системы, конструктивное исполнение, увеличение жизненного цикла, надежность и долговечность систем

Для цитирования. Беспалов В.И., Ткачева Ю.Ю., Николаев А.И. Разработка алгоритма увеличения жизненного цикла систем кондиционирования воздуха (СКВ). *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий.* 2023;2(4):127–136. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-127-136

Original article

Development of the Life Cycle Extension Algorithm of the Air Conditioning Systems (ACS)

Vadim I. Bespalov ✉, **Yuliya Yu. Tkacheva** ✉, **Aleksandr I. Nikolaev**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ izos-rgsu@mail.ru, ✉ tkachevayu@yandex.ru

Abstract
Introduction. The scientific problem tackled by the authors is the need to analyse and evaluate the life cycle of the air conditioning systems (ACS) for developing an optimal technology of creating the favourable indoor climate, which enables people's productive work and rest as well as the normal flow of the technological processes. The study aimed at

investigating the life cycle of an ACS as a facility of the comfortable indoor climate provision within the urban mixed-use complexes.
Materials and Methods. The authors' research is based on the methods of mathematical and system analysis used to find out the solution for extending the life cycle of the indoor climate provision facilities.
Results. As a result of the research, the ACS main life cycle stages were distinguished, their relations to the respective operational parameters were determined, the formulas for calculating the criteria and nondimensional indicators of the indoor climate provision system's operation assessment were proposed.
Discussion and Conclusion. The carried out analysis on distinguishing the life cycle extension capacities allowed us to conclude that the ACS operational stage provides the best opportunities for selecting the optimal layout of the system functional units and the air conditioning technology. The formulas for calculating the criteria and their respective nondimensional indicators enabling the development of the recommendations and ways of extending the ACS life cycle have been determined and described.

Keywords: indoor climate, air thermal and humidity treatment, air conditioning systems, system functional units, structural design, life cycle extension, reliability and durability of the systems.

For citation. Bespalov VI, Tkacheva YYu, Nikolaev AI. Development of the Life Cycle Extension Algorithm of the Air Conditioning Systems (ACS). *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(4):127–136. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-127-136

Введение. К числу значимых научных проблем относятся повышение эффективности жизненного цикла и выбор конструкции таких СКВ, которые бы обладали свойствами конструктивной и компоновочной функциональности и надежности.

Функциональными блоками, составляющими конструкцию СКВ, являются унифицированные компоненты: средства забора воздуха, камеры фильтрации и смешения, теплообменники (воздухоохладители и воздухонагреватели), конденсаторы и испарители, компрессоры, увлажнители и осушители, устройства для перемещения и распределения воздуха, средства хладо-, тепло- и энергоснабжения, автоматики, дистанционного управления и контроля [1, 2].

В СКВ каждый функциональный блок (узел) влияет напрямую и взаимообратно на жизненный цикл системы. В представленной работе жизненный цикл исследован нами как многоэтапное чередование сменяющихся состояний и событий, происходящих во времени.

Выбор из существующего многообразия конструктивных исполнений СКВ оптимального решения с точки зрения долговечности и эффективности жизненного цикла должен основываться на системном и комплексном подходе. Это означает, что необходимо разработать обоснованную последовательность такого выбора на основе учета комплекса требований к обеспечению микроклимата помещений и оценки функционирования СКВ на всех этапах жизненного цикла объекта.

Известно, что жизненный цикл систем теплоснабжения и обеспечения микроклимата зданий в соответствии с «кругом качества» включает 11 этапов [3]. Нами же предложено для СКВ использовать укрупненную схему жизненного цикла (рис. 1), которая охватывает пять этапов, обладающих наибольшей значимостью: проектирование, производство (конструкций, блоков и узлов), строительство, эксплуатация и утилизация.

Проектный этап жизненного цикла СКВ можно называть стадией «инвестиционного замысла». На этом этапе формируются требования к СКВ и микроклимату помещений, которые они обслуживают. На этапе проектирования необходимо определить санитарно-гигиенические, экономические показатели и возможность их достижения [4].

На этапе производства требуется выполнение организационно-технологических решений, характеризуемых соответствующими расходными и мощностными параметрами функционирования СКВ.

Этап строительства регламентируется монтажными характеристиками, в т. ч. объемно-планировочные и функционально-компоновочные [5].

Эксплуатация СКВ становится результатом конструктивно-компоновочной интеграции санитарно-гигиенических характеристик задаваемого микроклимата обслуживаемых помещений и монтажно-технологических характеристик используемого оборудования тепловлажностной обработки воздуха. Проведенный нами анализ эксплуатационного этапа жизненного цикла СКВ показал, что в качестве его характеристик следует использовать все перечисленные выше группы, имеющие разную физическую сущность, большой разброс возможных интервалов значений и разнообразную размерность.



Рис. 1. Основные этапы жизненного цикла СКВ

Следует определить способы увеличения жизненного цикла СКВ путем определения этапа, наиболее эффективно влияющего на продолжительность жизни, предложить формулы его оценки и построить соответствующий алгоритм.

Материалы и методы. Для достижения цели увеличения жизненного цикла СКВ решены следующие взаимосвязанные задачи:

− выделены основные этапы жизненного цикла СКВ, и установлена связь каждого этапа с соответствующими характеристиками;

− предложенные характеристики этапов жизненного цикла объединены в критерии оценки функционирования СКВ, критерии, в свою очередь, преобразованы в безразмерный показатель для результирующего выбора инструмента увеличения продолжительности жизненного цикла;

− построен алгоритм разработки комплекса мероприятий по увеличению продолжительности жизненного цикла СКВ.

На рис. 2 перечислены четыре группы характеристик оборудования систем обеспечения микроклимата, которые нами предлагается использовать при оценке компоновочного решения СКВ и определении способа увеличения долговечности и эффективности ее жизненного цикла.

Характеристики работы СКВ, учитываемые при оценке этапов жизненного цикла рассматриваемой инженерной системы обеспечения микроклимата помещений, объединены нами в 4 группы:

− санитарно-гигиенические характеристики микроклимата, обеспечиваемого СКВ. Это в первую очередь требования, предъявляемые к внутреннему воздуху помещений, а также фактические (обеспечиваемые функционированием СКВ) характеристики микроклимата;

− технологические характеристики оборудования СКВ, включающие максимальную площадь обслуживания помещений, обеспечиваемый расход воздуха, производительность холода, тепла, интенсивность осушки/увлажнения обрабатываемого воздуха;

− монтажные характеристики компоновочных решений СКВ, учитывающие возможность разнообразия планировки, состава функциональных блоков, увеличения длины холодопроводов, воздуховодов, зонирования обслуживаемых площадей и равномерность распределения подачи воздуха, а также объемно-планировочные требования монтажа;

− экономические характеристики, отражающие эффективность работы системы, а именно эффективность капитальных затрат и текущих операционных расходов, а также энергоэффективность в режимах охлаждения и обогрева.

Для существующего многообразия СКВ как по схемам исполнения, так и по составу функциональных блоков [8], численные значения четырех перечисленных выше групп характеристик отличаются разнообразной физической сущностью, размерностью, а также большим разбросом интервалов значений характеристик.

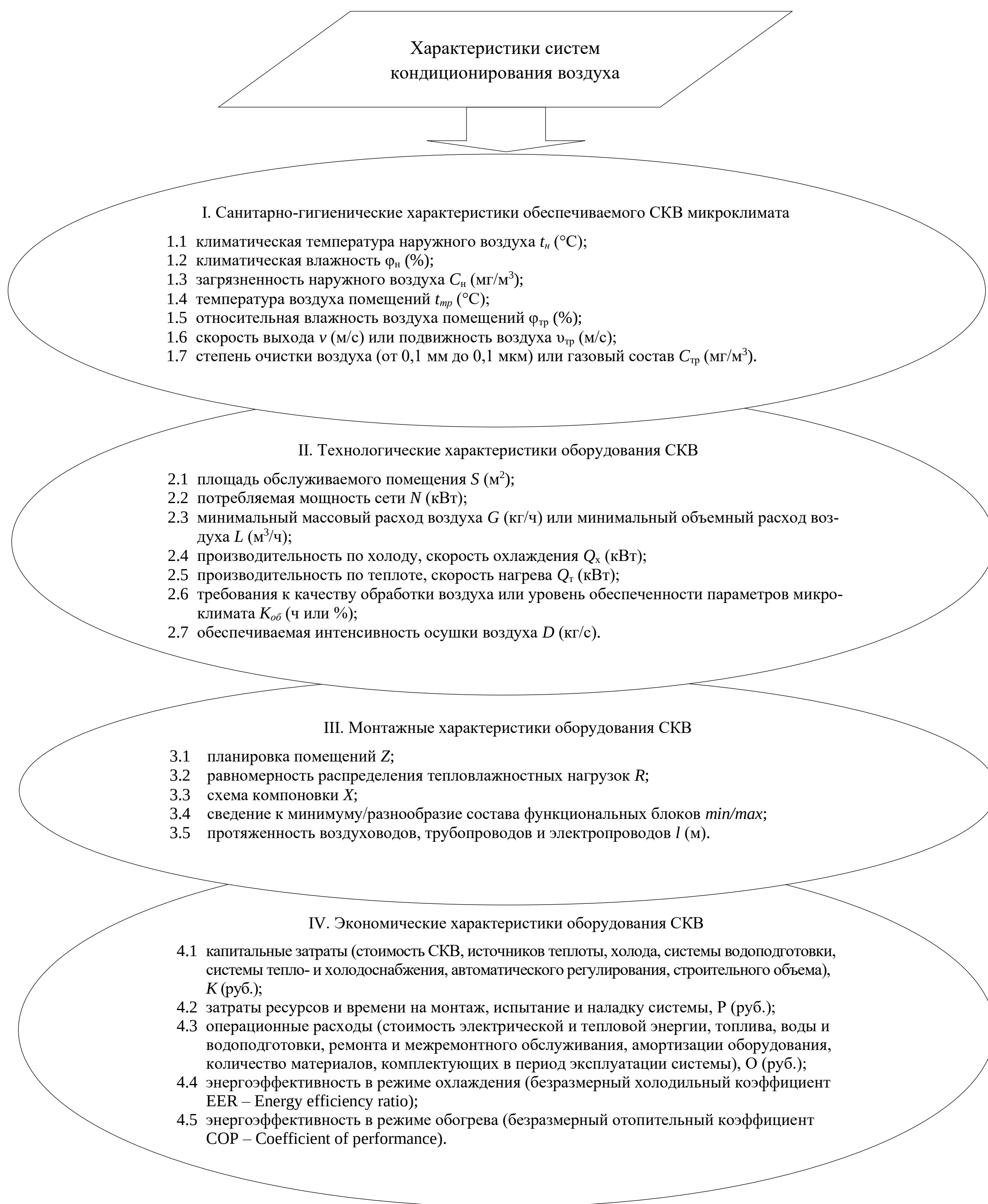


Рис. 2. Характеристики систем СКВ, используемые для контроля и оценки оборудования

При оценке и выборе оптимального конструктивного решения СКВ одно из главных мест занимает вопрос объединения имеющих различную размерность и физическую сущность величин, отражающих санитарно-гигиенические, технологические, монтажные и экономические характеристики СКВ, в единый безразмерный критерий работы СКВ.

Так как интервалы значений характеристик СКВ могут быть как узкими, так и широкими, соответствующий им критерий функционирования СКВ может принимать разнообразные по величине значения, поэтому нами предложено воспользоваться формулой желательности Харрингтона. Формула Харрингтона преобразует с помощью функции экспоненты безразмерные показатели, имеющие неограниченный интервал значений, в показатель

работы СКВ, изменяющийся в пределах от 0 (полное отсутствие эффекта) до 1 (максимальная эффективность жизненного цикла). Нормировать значения полученного показателя предлагается с помощью шкалы желательности, которая приведена в таблице 1.

Учитывая вышеизложенное, нами представлены формулы расчета трех критериев: санитарно-гигиенического критерия, критерия эффективности затрат, критерия энергоэффективности. Далее с помощью функции желательности Харрингтона предложено рассчитывать соответствующие показатели.

Таблица 1

Стандартные отметки на шкале желательности

Желательность	Отметки на шкале желательности
Очень плохо	0,00 — 0,20
Плохо	0,20 — 0,37
Удовлетворительно	0,37 — 0,63
Хорошо	0,63 — 0,80
Очень хорошо	0,80 — 1,00

Для обеспечения оптимальных санитарно-гигиенических требований микроклимата помещений следует приближать фактические параметры микроклимата к соответствующему оптимуму — требованиям температуры $t_в$, влажности $φ_в$, подвижности $ν_в$ внутреннего воздуха [9].

Санитарно-гигиенический критерий предлагается нами рассчитывать, исходя из отношения фактических значений к требуемым оптимальным значениям с учетом весовых коэффициентов соответствующих параметров микроклимата по формуле:

$$K_{\text{сан-гиг}} = \left(\frac{t_{\text{в}}^{\text{факт}}}{t_{\text{в}}^{\text{тр}}}+1\right)^{B^t} \cdot \left(\frac{\phi_{\text{в}}^{\text{факт}}}{\phi_{\text{в}}^{\text{тр}}}+1\right)^{B^\phi} \cdot \left(\frac{\upsilon_{\text{в}}^{\text{факт}}}{\upsilon_{\text{в}}^{\text{тр}}}+1\right)^{B^\upsilon} - 1,$$

где $t_в^{факт}$ — фактическая температура внутреннего воздуха обслуживаемых системой кондиционирования помещений, °С; $φ_в^{факт}$ — фактическая влажность внутреннего воздуха обслуживаемых системой кондиционирования помещений, %; $ν_в^{факт}$ — фактическая подвижность внутреннего воздуха обслуживаемых системой кондиционирования помещений, м/с; $t_в^{тр}$ — требуемая температура внутреннего воздуха обслуживаемых системой кондиционирования помещений, °С; $φ_в^{тр}$ — требуемая влажность внутреннего воздуха обслуживаемых системой кондиционирования помещений, %; $ν_в^{тр}$ — требуемая подвижность внутреннего воздуха обслуживаемых системой кондиционирования помещений, м/с; B^j — весовой коэффициент компонента микроклимата помещения: температуры, влажности, подвижности воздуха соответственно.

Показатель санитарно-гигиенических характеристик рассчитывается путем математического экспонирования санитарно-гигиенического критерия, который при благоприятных условиях стремится к нулю ($K_{сан-гиг} \to 0$):

$$П_{\text{сан-гиг}} = 1 - e^{(-1/K_{\text{сан-гиг}})}.$$

Критерий эффективности капитальных и текущих затрат объединяет капитальные затраты $З_{кап}$, затраты ресурсов на монтаж $З_{монт}$, операционные расходы $З_{тек}$, соотнося их с экономическим эффектом $Э_{эф}$ от использования СКВ. Критерий эффективности вложенных затрат предлагается нами рассчитывать по формуле:

$$K_{\text{эфф-затр}} = \frac{З_{\text{кап}} + З_{\text{монт}} + З_{\text{тек}}}{Э_{\text{эф}}},$$

где $З_{кап}$ — капитальные затраты (стоимость СКВ, источников теплоты, холода, системы водоподготовки, системы тепло- и холодоснабжения, электроснабжения, автоматического регулирования, строительного объема), руб.; $З_{монт}$ — затраты ресурсов на монтаж, испытание и наладку систем, руб.; $З_{тек}$ — операционные расходы (стоимость электрической и тепловой энергии, топлива, воды и водоподготовки, ремонта и межремонтного обслуживания, амортизации оборудования, количество материалов и комплектующих в период эксплуатации системы), руб.; $Э_{эф}$ — экономический эффект (выгода) от функционирования СКВ, руб.

Показатель эффективности капитальных и операционных затрат определяется математическим экспонированием соответствующего критерия:

$$П_{\text{эфф-затр}} = 1 - e^{(-1/K_{\text{эфф-затр}})}.$$

Критерий энергоэффективности соотносит потребляемую СКВ мощность сети $N_{потр}$ с производительностью системы $Q_{хол/тепл}$, определяемой по количеству тепла, отводимого от охлаждаемого помещения в режиме охлаждения или подводимого в режиме обогрева. Критерий энергоэффективности предлагается рассчитывать по формуле:

$$K_{энер-эфф} = \frac{N_{потр}}{0{,}278 \cdot V_h \cdot q_v \cdot \lambda_v \cdot 10^{-3}},$$

где $N_{потр}$ — потребляемая мощность сети, кВт; V_h — часовой рабочий объем холодильной/тепловой системы, м^3/ч; q_v — удельная производительность холодильного/теплового агента, кДж/м^3; λ_v — безразмерный коэффициент подачи теплообменника.

Показатель энергоэффективности рассчитывается математическим экспонированием критерия энергоэффективности, который при благоприятных условиях стремится к нулю ($К_{энер-эфф} \to 0$):

$$П_{энер-эфф} = 1 - e^{\left(-1/K_{энер-эфф}\right)}.$$

Результаты исследования. Результаты процедуры ранжирования на основе предложенных показателей для трех из пяти основных этапов жизненного цикла СКВ (проектирование, строительство, эксплуатация), представлены на рис. 3. Проведенный нами анализ трех основных этапов жизненного цикла показал, что наибольшими значениями параметров обладает этап эксплуатации СКВ.

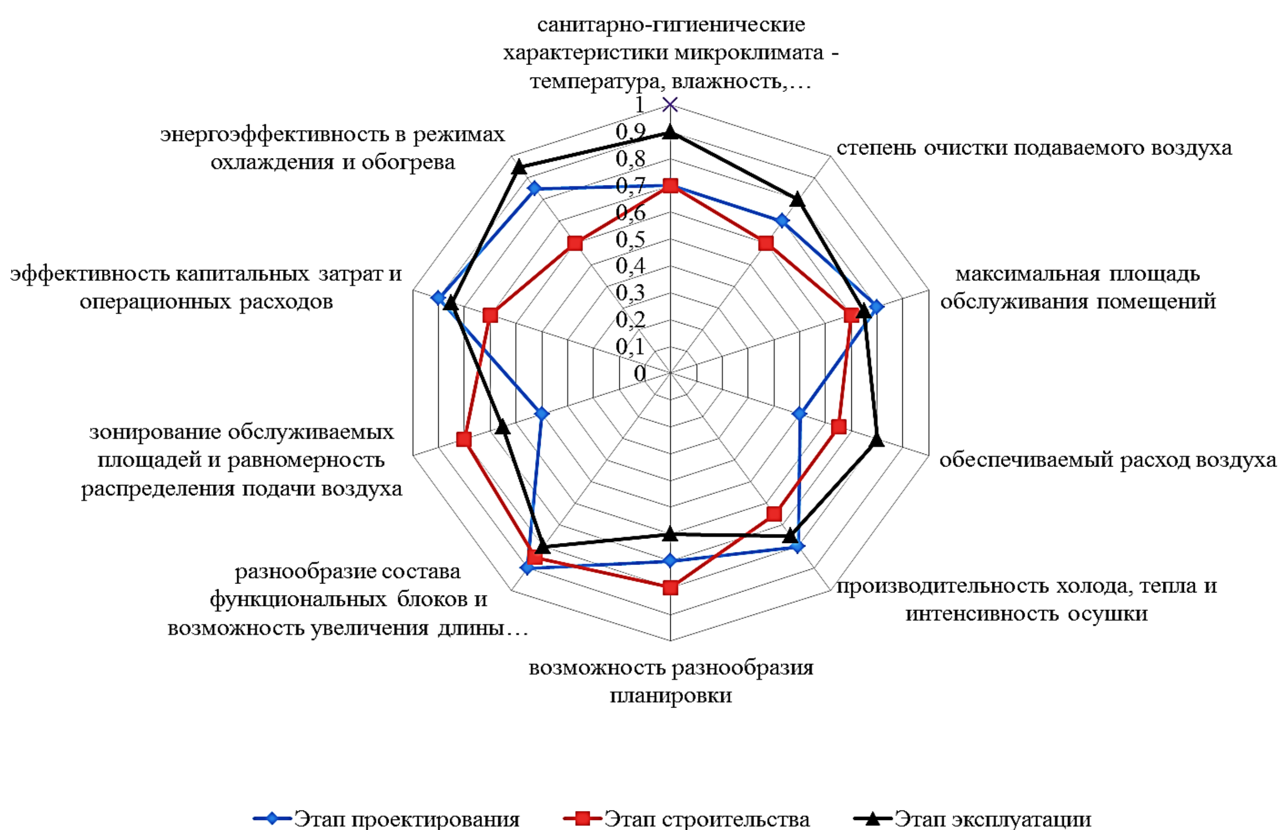


Рис. 3. Сравнительная диаграмма по результатам процедуры ранжирования этапов жизненного цикла на основе предложенных показателей работы СКВ

Факторы, от которых зависит комплектация СКВ, определяются в зависимости от используемых сменных функциональных блоков для выполнения рабочих и вспомогательных операций по тепловлажностной обработке воздуха. Из сменных функциональных блоков — агрегатов различного назначения — формируются технологические комплексы, при этом используются как базовые, так и дополнительные, вспомогательные блоки.

Согласно составленному нами «дереву задач» (рис. 4) для увеличения жизненного цикла СКВ, помимо перечисленных выше характеристик функционирования СКВ, следует учитывать характеристики надежности, а именно: наработку на отказ, контролепригодность, доступность блоков конструкции [10].

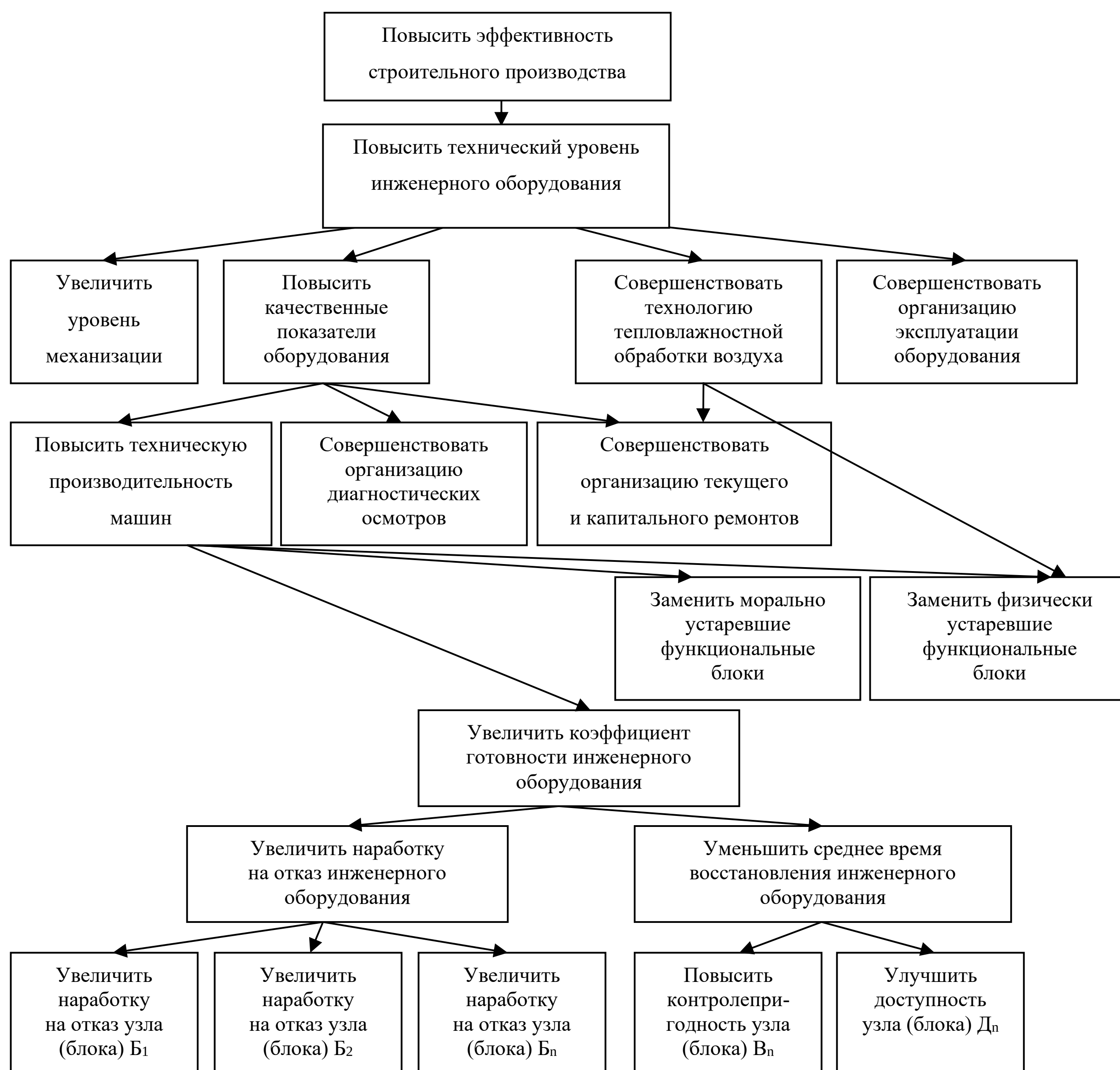


Рис. 4. Дерево задач увеличения надежности и продолжительности жизненного цикла СКВ

В качестве основных инструментов увеличения продолжительности эксплуатационного этапа жизненного цикла СКВ можно рекомендовать управление надежностью, долговечностью, ремонтопригодностью и обеспечением санитарно-технологических требований (в том числе управление обеспечением санитарно-гигиенического состояния микроклимата обслуживаемых помещений, а также безопасностью системы кондиционирования).

Обсуждение и заключение. На основе анализа статистических данных [6, 7], учитывающих продолжительность этапов жизненного цикла рассматриваемых систем, этап эксплуатации определен нами как этап, в наибольшей степени влияющий на продолжительность всего жизненного цикла.

Обсуждая результаты исследований можно заключить, что предложенный метод оценки жизненного цикла обладает рядом преимуществ:

1. Оценка жизненного цикла СКВ полностью отвечает задачам развития систем обеспечения микроклимата, в том числе с переменными параметрами технологического процесса, когда требуется осуществлять эффективное планирование и управление материальными ресурсами. Проводимые научные исследования направлены на развитие современного строительного производства.

2. В результате выполненного анализа нами установлены основные этапы жизненного цикла СКВ, выделены характеристики функционирования СКВ, определена связь каждого этапа жизненного цикла с соответствующими характеристиками.

3. Характеристики работы СКВ предлагается объединять в соответствующие критерии с последующим преобразованием критериев в безразмерный показатель, изменяющийся в пределах от 0 (полное отсутствие эффекта) до 1 (максимальная эффективность этапа жизненного цикла).

4. Результат проведенных исследований — разработан и построен алгоритм (методические основы) оценки жизненного цикла СКВ (рис. 5).

5. При использовании алгоритма оценки жизненного цикла СКВ возможно выявление принципов управления, направленных на увеличение эффективности жизненного цикла, улучшение санитарно-технологических параметров микроклимата обслуживаемых помещений, совершенствование систем обеспечения микроклимата.

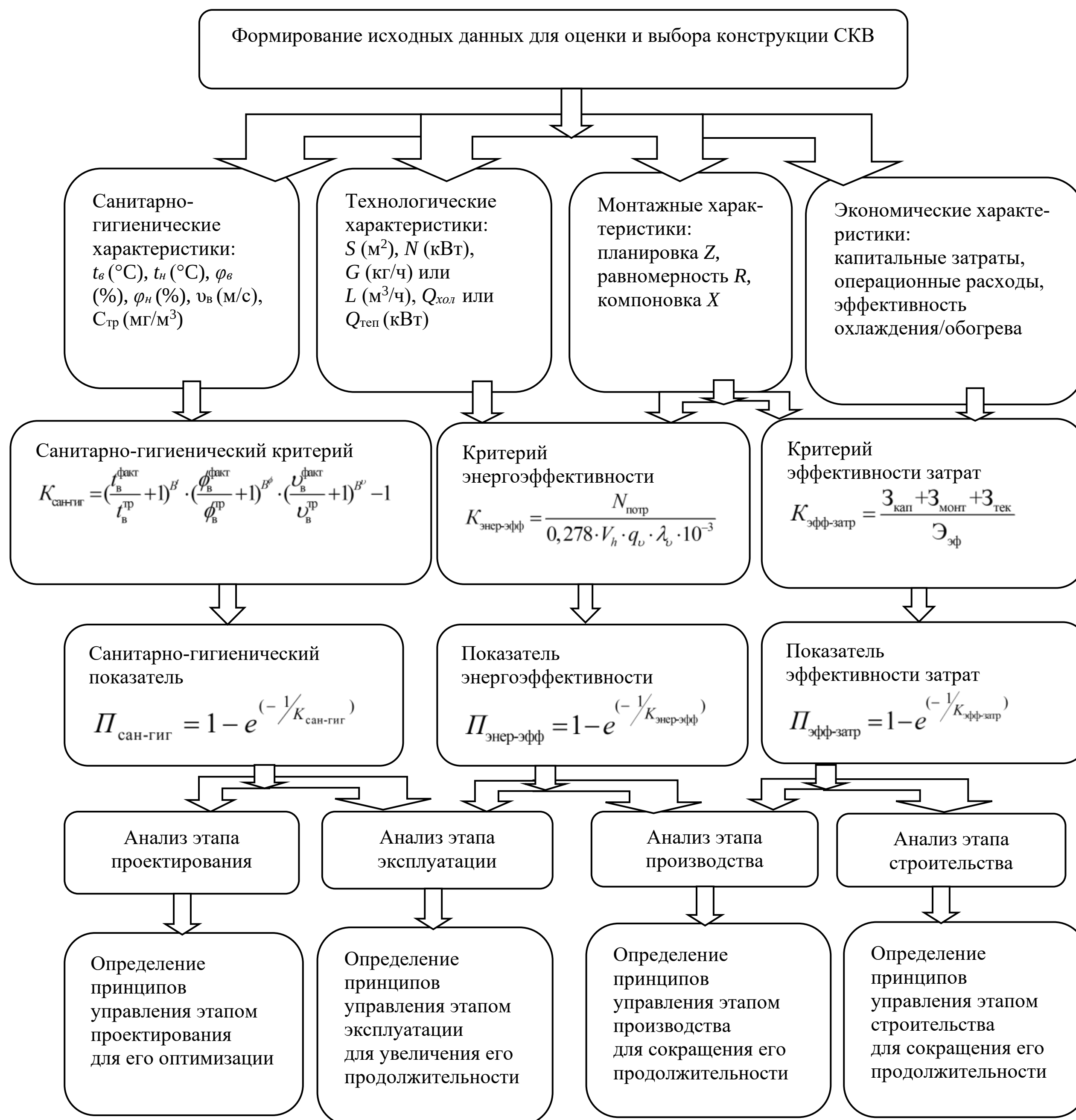


Рис. 5. Алгоритм оценки этапов жизненного цикла СКВ

Предложенный нами алгоритм оценки жизненного цикла СКВ может быть использован для разработки комплекса мероприятий по научно-обоснованному увеличению продолжительности эксплуатационного этапа жизненного цикла СКВ и поиску возможностей уменьшения продолжительности этапов производства и строительства, а значит повышению эффективности жизненного цикла в целом с последующей оптимизацией конструктивного и компоновочного исполнения СКВ.

Список литературы

1. Pozin B. The Principles of Life Cycle Supporting System for Mission-Critical System. *Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS.* 2018;30(1):103–114. https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2018-30(1)-7

2. Побирский Е.Ю., Галаев А.С., Филимонов И.С. Управление жизненным циклом изделия в производстве ракетно-космической техники. *Решетневские чтения.* 2012;2:633–634. https://elibrary.ru/item.asp?id=24376254 (дата обращения 03.10.2023).

3. Беспалов В.И., Гурова О.С., Лысова Е.П., Гришин Г.С. Анализ жизненного цикла парогазотурбинных ТЭЦ. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий.* 2022;1(4):32–43. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-4-32-43

4. Абрамян С.Г., Оганесян О.В., Сибирский Е.В. Энергоэффективная реконструкция на различных этапах жизненного цикла строительной системы. *Инженерный вестник Дона.* 2022;1(85):459–469. http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7430 (дата обращения 03.10.2023).

5. Варнаков Д.В., Козлов С.Ю., Васильев А.Ю. Теоретическое обоснование проектирования надежности технических систем по стадиям жизненного цикла. *Аллея науки.* 2018;6(22):1008–1012. https://elibrary.ru/item.asp?id=35370125 (дата обращения 03.10.2023).

6. Лукинова О.В. Совмещение жизненных циклов информационной системы и системы защиты: методологические предпосылки. *Информационное общество.* 2013;5:47–58. http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/1a60e62cfb78a80644257c46002cc40e (дата обращения 03.10.2023).

7. Царев А.М. Поиск резервов увеличения жизненного цикла автоматизированных систем машин на основе создания и применения перекомпонуемых производственных систем. *Проблемы машиностроения и автоматизации.* 2011;3:26–37. https://elibrary.ru/item.asp?id=17244947 (дата обращения 01.10.2023).

8. Gurova O., Tkacheva Y. Systematization of Requirements for Air Conditioning Systems for the Development of OpTimization and Evaluation Criteria. In: *Proceedings of the International Scientific Conference "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East" (AFE-2022).* E3S Web of Conferences; 2023. P. 05074. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337105074

9. Калинина П.М., Медведев Е.С. Модель интегрированной системы обеспечения качества на этапах жизненного цикла наукоемкого изделия. *Вестник Брянского государственного технического университета.* 2020;12(97):67–71. https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-12-67-71

10. Богомаз С.В. Использование систем управления жизненным циклом в машиностроении. В: *Материалы XXI Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов «Конкурентоспособность территорий». В 8-ми частях.* Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет; 2018. С. 5–8. https://elibrary.ru/item.asp?id=36678151 (дата обращения 03.10.2023).

References

1. Pozin B. The Principles of Life Cycle Supporting System for Mission-Critical System. *Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS.* 2018;30(1):103–114.

2. Pobirsky EYu, Galaev AS, Filimonov IS. Product Lifecycle Management in the Space-Based Rocket Industry. *Reshetnevskie chteniya*. 2012;2:633–634. https://elibrary.ru/item.asp?id=24376254 (accessed: 03.10.2023) (In Russ.).

3. Bespalov VI, Gurova OS, Lysova EP, Grishin GS. Life Cycle Analysis of Steam and Gas Turbine CHP Plants. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2022;22(4):25–46. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-4-32-43 (In Russ.).

4. Abramyan SG, Oganesyan OV, Sibirskii EV. Energy-Efficient Reconstruction at Various Stages of the Construction System Life Cycle. Engineering Journal of Don. 2022;1(85):459–469. http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2022/7430 (accessed: 03.10.2023) (In Russ.).

5. Varnakov DV, Kozlov SYu, Vasilyev AYu. Theoretical Justification for Designing the Technical Systems' Reliability by Stages of the Life Cycle. *Alleya nauki*. 2018;6(22):1008–1012. https://elibrary.ru/item.asp?id=35370125 (accessed: 03.10.2023) (In Russ.).

6. Lukinova OV. Methodology Background of Information System and Security System Lifecycles Combining. Information Society Journal. 2013;5:47–58. http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/1a60e62cfb78a80644257c46002cc40e (accessed: 03.10.2023) (In Russ.).

7. Tsaryev AM. The Search of Reserves for Life Cycle Increasing of Automated Machine Systems Based on the Reconfigurable Manufacturing Systems Creation and Application. 2011;3:26–37. https://elibrary.ru/item.asp?id=17244947 (accessed: 01.10.2023) (In Russ.).

8. Gurova O, Tkacheva Y. Systematization of Requirements for Air Conditioning Systems for the Development of Optimization and Evaluation Criteria. In: *Proceedings of the International Scientific Conference "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East" (AFE-2022).* E3S Web of Conferences; 2023. P. 05074. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337105074

9. Kalinina PM., Medvedev ES. Model of Integrated System for Quality Support at Life Stages of Science Intensive Product. *Bulletin of Bryansk Technical University*. 2020;12(97):67–71. https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-12-67-71 (In Russ.).

10. Bogomaz SV. The Use of Life Cycle Management Systems in Mechanical Engineering. In: *Proceedings of the XXI All-Russian Economic Forum of Young Scientists and Students "Competitive Capacity of Territories". In 8 Volumes*. Yekaterinburg: Ural State University of Economics; 2018. P. 5–8. https://elibrary.ru/item.asp?id=36678151 (accessed: 03.10.2023) (In Russ.).

Поступила в редакцию 04.10.2023
Поступила после рецензирования 19.10.2023
Принята к публикации 20.10.2023

Об авторах:

Беспалов Вадим Игоревич, заведующий кафедрой «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ORCID, izos-rgsu@mail.ru

Ткачева Юлия Юрьевна, доцент кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат экономических наук, ORCID, tkachevayu@yandex.ru

Николаев Александр Иванович, заведующий лабораторией «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1) ORCID, izos-rgsu@mail.ru.

Заявленный вклад соавторов:
Беспалов В.И. — научное руководство, цели и задачи, формирование концепции.
Ткачева Ю.Ю. — исследования, анализ результатов исследований.
Николаев А.И. — графическое оформление, доработка текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 04.10.2023
Revised 19.10.2023
Accepted 20.10.2023

About the Authors:

Vadim I. Bespalov, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Head of the Environmental Engineering Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ORCID, izos-rgsu@mail.ru

Yuliya Yu. Tkacheva, Cand.Sci (Economics), Associate Professor of the Environmental Engineering Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, tkachevayu@yandex.ru

Aleksandr I. Nikolaev, Head of the Environmental Engineering Laboratory, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, izos-rgsu@mail.ru.

Claimed contributorship:
Bespalov VI — scientific supervision, aims and objectives, formulating the concept.
Tkacheva YYu — experimental research, analysis of the research results.
Nikolaev AI — graphics, text refining.

Conflict of interest statement: authors do not have any conflict of interest.

Authors have read and approved the final manuscript.